

KONVERSI BATANG KELAPA SAWIT MENJADI KARBON DENGAN TEKNIK PIROLISIS PLASMA

SHAKILA AGUSTIN



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Konversi Batang Kelapa Sawit Menjadi Karbon dengan Teknik Pirolisis Plasma” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2026

Shakila Agustin
G7401221046



ABSTRAK

SHAKILA AGUSTIN. Konversi Batang Kelapa Sawit Menjadi Karbon dengan Teknik Pirolisis Plasma. Dibimbing oleh YESSIE WIDYA SARI dan RADEN IBRAHIM PURAWIARDI.

Batang kelapa sawit merupakan limbah biomassa yang melimpah dan dapat digunakan sebagai sumber karbon. Metode yang dapat digunakan untuk menyintesis karbon yaitu pirolisis plasma menggunakan alat *Arc Plasma Sintering* (APS) dengan variasi arus (20 A, 40 A, 60 A, dan 80 A). Sampel karbon hasil pirolisis kemudian dikarakterisasi menggunakan *Raman Spectroscopy*, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Transmission Electron Microscopy* (TEM), dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Hasil analisis dengan *Raman Spectroscopy* menunjukkan rasio I_G/I_D pada sampel dengan setiap perlakuan arus. Rasio I_G/I_D cenderung menurun seiring peningkatan arus hingga 60 A. Hasil data XRD menunjukkan difraktogram yang berisi puncak amorf dengan beberapa puncak yang menunjukkan struktur kristalin. Hasil perhitungan nilai parameter kisi pada XRD menunjukkan bahwa sampel karbon yang terbentuk merupakan karbon kristalin dengan struktur tetragonal. Hasil FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi yang terdapat pada seluruh sampel dengan variasi arus. Hasil *gas chromatography* (GC) menunjukkan bahwa proses pirolisis plasma pada batang kelapa sawit menghasilkan produk gas (*syngas*) yang didominasi oleh gas CO dan H_2 .

Kata kunci: batang kelapa sawit, karbon, pirolisis plasma.

ABSTRACT

SHAKILA AGUSTIN. Conversion of Palm Oil Stems into Carbon using Plasma Pyrolysis Technique. Supervised by YESSIE WIDYA SARI and RADEN IBRAHIM PURAWIARDI.

Palm oil trunks are abundant biomass waste and can be used as a carbon source. The method that can be used to synthesize carbon is plasma pyrolysis using an Arc Plasma Sintering (APS) device with varying currents (20 A, 40 A, 60 A, and 80 A). The carbon samples resulting from pyrolysis were then characterized using Raman Spectroscopy, X-Ray Diffraction (XRD), Transmission Electron Microscopy (TEM), and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The results of analysis using Raman Spectroscopy show the I_G/I_D ratio in samples with each current treatment. The I_G/I_D ratio tends to decrease as the current increases up to 60 A. The XRD data results show a diffractogram containing amorphous peaks with several peaks indicating a crystalline structure. The results of calculating the lattice parameter values in XRD show that the carbon sample formed is crystalline carbon with a tetragonal structure. FTIR results show the presence of functional groups found in all samples with variations in current. Gas chromatography (GC) results show that the plasma pyrolysis process in oil palm stems produces gas products (*syngas*) which are dominated by CO and H_2 gas.

Keywords: carbon, palm oil trunk, plasma pyrolysis



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

KONVERSI BATANG KELAPA SAWIT MENJADI KARBON DENGAN TEKNIK PIROLISIS PLASMA

SHAKILA AGUSTIN

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Nur Aisyah Nuzulia, S.Si., M.Si.
- 2 Dr. Faozan, S.Si., M.Si.

Judul Skripsi : Konversi Batang Kelapa Sawit Menjadi Karbon Dengan Teknik
Pirolisis Plasma

Nama : Shakila Agustin

NIM : G7401221046

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Yessie Widya Sari, S.Si., M.Si.



Pembimbing 2:

Dr. Raden Ibrahim Purawiardi, S.TP., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika
Dr. Ir. Irmansyah, M.Si.
NIP. 196809161994031001



Tanggal Ujian: 10 Juli 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2025 sampai bulan Februari 2026 ini ialah Pirolisis Plasma, dengan judul “Konversi Batang Kelapa Sawit Menjadi Karbon dengan Teknik Pirolisis Plasma”.

Penelitian ini tentu tak akan berhasil tanpa bantuan banyak pihak yang membantu penulis selama proses berkuliah di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, IPB. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu wa Ta'ala
2. Alm. Bapak Iwan Martha dan Ibu Yusniarti serta Rame's *family*, yang selalu menjadi sumber kekuatan dan semangat. Terima kasih atas do'a yang tak henti, pelukan di tengah lelah, dan kepercayaan yang tak pernah goyah meskipun penulis sering meragukan diri sendiri.
3. Ibu Dr. Yessie Widya Sari, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir yang telah membimbing, memberikan saran, dukungan serta motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Raden Ibrahim Purawiardi, S.TP., M.Si. selaku dosen pembimbing 2 yang telah membimbing penulis, membantu penulis selama penelitian, pengujian serta penulisan tugas akhir hingga penulis menyelesaikan tugas akhir.
5. Ibu Nur Aisyah Nuzulia, S.Si., M.Si. dan Bapak Dr. Faozan, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji, atas koreksi dan masukan demi kesempurnaan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Ing. Arbi Dimyati, Ibu Airine Hijrah Handayani, S.ST., M.Si. serta seluruh civitas Pusat Riset Teknologi Analisis Berkas Nuklir BRIN Serpong yang telah membimbing dan membantu penulis saat melakukan penelitian.
7. Sahabat penulis, yaitu Nabila Yunita Siregar, Siti Puji Rahayu, Safitri Aulia, Sarmilah, Kinanthi Freda Bhanuwati, Dini Dzahaudy Baye, dan Septiana Isna yang tiada henti memberikan semangat, canda, tawa, serta bahagia kepada penulis selama penulisan tugas akhir ini.
8. Fatma Dwi Yeni dan Tegar Alamsyah sebagai sahabat-sahabat penulis yang telah menemani dan selalu menyemangati penulis sejak SMP.
9. Rekan-rekan satu tim penulis, yaitu Thala Fairuzza, Adhirajasa Maximiliam Soetomo, Abimanyu Pratama, dan Naufal Mustaqim yang telah memberikan semangat dan masukan terkait tugas akhir.
10. Rekan-rekan seperjuangan Departemen Fisika IPB University Angkatan 59 yang menjadi sumber semangat dan inspirasi selama proses perkuliahan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



11. Serta seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan tugas akhir ini, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu tanpa mengurangi rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Semoga segala bentuk kebaikan, keikhlasan, serta bantuan yang telah diberikan mendapat balasan terbaik dari Allah SWT. Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Bogor, Juni 2026

Shakila Agustin



DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Hipotesis	4
1.6 Hasil yang Diharapkan	4
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karbon	5
2.2 Biomassa Kelapa Sawit	7
2.3 Pirolisis	8
2.3.1 Tipe pirolisis	9
2.3.2 Pirolisis plasma	9
2.4 Karakterisasi Struktur dan Transisi Fasa Alotrop Karbon Hasil Konversi OPT Metode Pirolisis Lambat	10
2.5 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	11
2.6 <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR)	12
2.7 <i>Transmission Electron Spectroscopy</i> (TEM)	13
2.8 <i>Raman Spectroscopy</i>	13
2.9 <i>Gas Chromatography</i> (GC)	13
METODE	15
3.1 Waktu dan Tempat	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Prosedur Kerja	15
3.3.1 Preparasi batang kelapa sawit	16
3.3.2 Proses pirolisis plasma menggunakan <i>arc plasma sintering</i>	16
3.3.3 Analisis proksimat dan ultimat	16
3.3.4 Karakterisasi	17
3.3.4.1 Karakterisasi struktur internal dan morfologi	17
3.3.4.2 Karakterisasi gugus fungsi	17
3.3.4.3 Karakterisasi komponen gas	17
3.4 Analisis Data	17
HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Analisis Proses Pirolisis Plasma Batang Kelapa Sawit	19
4.2 Pengaruh Arus Plasma terhadap Rendemen Arang	19
4.3 Analisis Proksimat dan Ultimat	20
4.4 Hasil Analisis Raman Spektroskopi	22
4.5 Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	24
4.6 Hasil Analisis <i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM)	29
4.7 Hasil Analisis Spektroskopi <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR)	34

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

4.8	Hasil Analisis Karakterisasi <i>Gas Chromatography</i> (GC)	41
4.9	Potensi Aplikasi	45
V	SIMPULAN DAN SARAN	47
5.1	Simpulan	47
5.2	Saran	47
	DAFTAR PUSTAKA	48
	LAMPIRAN	53
	RIWAYAT HIDUP	81

DAFTAR TABEL

1	Alotrop hibridisasi sp^3 (Bai <i>et al.</i> 2014)	6
2	Kandungan lignoselulosa biomassa kelapa sawit	7
3	Hasil uji proksimat dan ultimat batang kelapa sawit	21
4	Hasil uji proksimat dan ultimat batang kelapa sawit (<i>lanjutan</i>)	22
5	Letak pita <i>D-Band</i> dan <i>G-Band</i> pada <i>Raman Shift</i> (cm^{-1})	23
6	Estimasi suhu busur plasma pada sistem reaktor plasma DC (Purawiardi 2025)	27
7	Nilai <i>d-spacing</i> dan parameter kisi	28
8	Perhitungan nilai <i>d-spacing</i> dan <i>hkl</i>	33
9	Nilai energi ikat pada struktur selulosa (Richards 1978; Pierson 1993)	38
10	Kelimpahan (volume (%)) komponen gas hasil proses pirolisis plasma	41
11	Komponen gas hasil reaksi	42
12	Hasil perhitungan eksergi dan efisiensi eksergi	43
13	Hasil uji nilai kalor	45

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram fasa karbon (Pierson 1993)	4
2	Struktur turbostatik (Pierson 1993)	5
3	Skema proses pirolisis (Basu 2010)	8
4	Hasil Raman spektroskopi suhu 800 °C dan laju pemanasan 20 °C/menit (Karim <i>et al.</i> 2019)	10
5	Difraktogram hasil pirolisis lambat dengan laju pemanasan 5 °C/menit, 10 °C/menit, dan 20 °C/menit (Karim <i>et al.</i> 2019)	10
6	Morfologi karbon hasil pirolisis lambat laju pemanasan 20 °C/menit (Karim <i>et al.</i> 2019)	11
7	Komponen sederhana dari spektrometer FTIR (Mohamed <i>et al.</i> 2017)	12
8	Diagram alir tahapan penelitian	15
9	Sampel hasil pirolisis plasma batang kelapa sawit	19



10	Pengaruh arus plasma terhadap rendemen arang batang kelapa sawit	20
11	Spektrum Raman batang kelapa sawit hasil pirolisis plasma (a) sampel 20 A, (b) sampel 40 A, (c) sampel 60 A, (d) sampel 80 A	23
12	Pola XRD sampel batang kelapa sawit hasil proses pirolisis plasma sampel 20 A	25
13	Pola XRD sampel batang kelapa sawit hasil proses pirolisis plasma sampel 40 A	25
14	Pola XRD sampel batang kelapa sawit hasil proses pirolisis plasma sampel 60 A	25
15	Pola XRD sampel batang kelapa sawit hasil proses pirolisis plasma sampel 80 A	26
16	Model struktur tetragonal sampel batang kelapa sawit (a) sampel 20 A, (b) sampel 40 A, (c) sampel 60 A, (d) sampel 80 A	29
17	Citra TEM (a) sampel dengan arus 20 A perbesaran 36000× (b) sampel dengan arus 20 A perbesaran 73000×	30
18	Citra TEM (a) sampel dengan arus 40 A perbesaran 73000× (b) sampel dengan arus 40 A perbesaran 650000×	30
19	Citra TEM (a) sampel dengan arus 60 A perbesaran 73000× (b) sampel dengan arus 60 A perbesaran 650000×	30
20	Citra TEM (a) sampel dengan arus 80 A perbesaran 73000× (b) sampel dengan arus 80 A perbesaran 650000×	31
21	Pola difaksi (a) sampel dengan arus 20 A, (b) sampel dengan arus 40 A, (c) sampel dengan arus 60 A, (d) sampel dengan arus 80 A	32
22	Spektrum FTIR sampel karbon dengan variasi arus plasma 20 A	34
23	Spektrum FTIR sampel karbon dengan variasi arus plasma 40 A	35
24	Spektrum FTIR sampel karbon dengan variasi arus plasma 60 A	35
25	Spektrum FTIR sampel karbon dengan variasi arus plasma 80 A	36
26	Ilustrasi struktur grafit oksida: (A) gugus karboksil, (B) gugus hidroksil, dan (C) gugus epoksi (He <i>et al.</i> 1998)	37
27	Proses pemutusan ikatan (disosiasi) pada struktur selulosa	38
28	Proses hibridisasi pada struktur selulosa	39
29	Proses disosiasi (pemutusan) pada struktur lignin	39
30	Proses hibridisasi pada struktur lignin	40
31	Perbandingan komposisi gas pada variasi arus plasma	41
32	Diagram sankey <i>exergy loss</i> pada keseluruhan perlakuan arus	44

DAFTAR LAMPIRAN

1	Perhitungan nilai <i>d-spacing</i> dan parameter kisi arus 20 A	54
2	Perhitungan nilai <i>d-spacing</i> dan parameter kisi arus 40 A	60
3	Perhitungan nilai <i>d-spacing</i> dan parameter kisi arus 60 A	62
4	Perhitungan nilai <i>d-spacing</i> dan parameter kisi arus 80 A	64
5	Perhitungan nilai parameter kisi struktur tetragonal arus 20 A	67
6	Perhitungan nilai parameter kisi struktur tetragonal arus 40 A	70
7	Perhitungan nilai parameter kisi struktur tetragonal arus 60 A	74
8	Perhitungan nilai parameter kisi struktur tetragonal arus 80 A	78